

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/60



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

### A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

#### 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

<b>Šifra projekta</b>	L2-4160
<b>Naslov projekta</b>	Razvoj MEMS sensorskih omrežij za prediktivno vzdrževanje mehanskih pogonov
<b>Vodja projekta</b>	812 Jožef Vižintin
<b>Tip projekta</b>	L Aplikativni projekt
<b>Obseg raziskovalnih ur</b>	7523
<b>Cenovni razred</b>	C
<b>Trajanje projekta</b>	07.2011 - 06.2014
<b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
<b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b>	106 Institut "Jožef Stefan" 588 Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta
<b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>	2 TEHNIKA 2.11 Konstruiranje 2.11.02 Specialna konstrukcijska znanja
<b>Družbeno-ekonomski cilj</b>	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
<b>Raziskovalno področje po šifrantu FOS</b>	2 Tehniške in tehnološke vede 2.11 Druge tehniške in tehnološke vede

### B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

#### 2. Povzetek raziskovalnega projekta<sup>1</sup>

SLO

Mehanski pogoni so daleč najpogostejše naprave v industriji. Obraba, preobremenitve ali montažne napake pri sestavljanju lahko povzročijo prezgodnjo odpoved, kar lahko vodi v delni ali popolni zastoj proizvodne linije, poškodbe na opreми in celo človeške žrtve. Primerno vzdrževanje opreme je zato izrednega pomena.

Po ocenah ARTEMIS-a je neposredni strošek vzdrževanja v EU enak štirim do osmim odstotkom celotnih prihodkov od prodaje. Trideset do petdeset odstotkov vseh teh stroškov pa nastane zaradi neučinkovitega vodenja procesa vzdrževanja. Problem predstavljata trenutno prevladujoča in povsem zastarela pristopa reaktivnega in preventivnega vzdrževanja. Le-te bi bilo potrebno nadomestiti s ekonomsko učinkovitejšim prediktivnim vzdrževanjem, ki temelji na naprednih postopkih diagnostike, prognostike in upravljanja stanja (angl. prognostics and health management, PHM). Diagnostika ima namen ugotoviti trenutno stanje komponente, prognostika pa napoveduje razpoložljivo življenjsko dobo naprave. Upravljanje stanja se nanaša na sposobnost generiranja inteligentnih odločitev o vzdrževalskih posegih. Razloge za previdnost podjetij pri investicijah v PHM sisteme gre iskati predvsem v visokih kapitalskih vložkih, zahtevni namestitvi in splošni kompleksnosti trenutno obstoječih nadzornih sistemov.

Cilj projekta je najti rešitve za omenjene izzive in izdelati prototip zmožljive, enostavno uporabne in nizkocenovne platforme za prognostiko in upravljanje stanja (PHM) elektromehanskih pogonov, imenovane MEMS-PHM, ki združuje najbolj napredne tehnologije MEMS (mikroelektromehanski senzorji). Glede na to, da bo projekt vključeval temeljne in aplikativne raziskave, je bilo izvajanje projekta usmerjeno na doseganje naslednjih rezultatov:

1. Različica platforme MEMS-PHM, ki je zmožna opravljati diagnostične in prognostične funkcije.
2. Razvoj uporabniške programske opreme sistema MEMS-PHM, ki bo skrajšalo čas, potreben za razvoj in konfiguriranje.
3. Novi algoritmi za spremljanje stanja in prognostiko, ki temeljijo na konceptu zlivanja informacij in omogočajo pridobivanje informacij iz več različnih senzorjev, kot so pospeškomeri, termočleni, merilniki lastnosti olja itn.
4. Robustni algoritmi za zaznavanje in lokalizacijo poškodb v spremenljivih, negotovih obratovalnih pogojih in neodvisno od zunanjih motenj.
5. Vmesnik za platforme E-vzdrževanja.

Različica prototipa sistema je preizkušena na testni laboratorijski napravi in na realnem objektu pri sofinancerju projekta.

ANG

Mechanical drives are the most ubiquitous item of equipment in almost all industrial branches. Wear, excessive operational loads or errors in assembly might cause premature unexpected failures resulting in partial or total production downtime, damaged equipment or even loss of lives. Proper maintenance is therefore very important.

According to the ARTEMIS report, the direct cost of maintenance in EU is estimated 4%- 8% of the total sales turnover. Moreover, 30-50% of the expenditure is wasted through ineffective maintenance! The problem is that currently prevailing reactive (react-to-failure) and preventive (periodic) maintenance paradigms are outdated and need to be replaced with more cost-effective predictive maintenance based on advanced diagnostic, prognostic and health management solutions (PHM). While diagnostics tends to determine condition of the component and isolate faults, the aim of prognostics is to assess the useful life of the asset. Health management refers to the ability to make intelligent decisions about maintenance actions. Reasons that keep companies reluctant to investments in PHM are still in high capital costs, installation difficulties, and the overall complexity of the currently available monitoring systems.

The aim of the project is to respond to these challenges and come up with the prototype of a versatile, easily manageable and radically low-cost platform labelled MEMS-PHM for prognostics and health management of electro-mechanical drives that will rely on cutting-edge MEMS (micro-electromechanical sensor) technologies. This project includes basic and applied research leading to the major results as follows:

1. A version of low cost MEMS-PHM platform able to perform diagnostics and prognostics tasks.
2. Application SW design for MEMS-PHM, which reduces the development and configuration

effort.

3. New algorithms for condition assessment and prognostics based on information fusion concepts, enabling the proposed system to gain information from various sensors like accelerometers, thermocouples, sensors for oil parameters etc.
4. Robust algorithms able to detect and isolate faults under non-stationary operating conditions and external disturbances.
5. Interface to the e-maintenance platforms.

The prototype versions of the system is validated on laboratory motor-generator test rig and and the object defined by company Domel.

### 3.Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu<sup>2</sup>

Raziskave so v času trajanja projekta, t.j. v obdobju 2011-2014 potekale v okviru naslednjih delovnih sklopov:

#### 1. Razvoj novih algoritmov

Gre za osrednji segment projekta v katerem smo naslovili naslednje problemske sklope:

**Analiza olja.** Gre za nadaljevanje raziskav in razvoja postopkov za zgodnje zaznavanje sprememb parametrov olja, kot posledica škodljivih dogodkov in poškodb mehanskih sistemov med obratovanjem. Izpopolnili smo sistem za sprotno analizo olja (SOOA – System for Online Oil Analysis) omogoča spremljanje trendov različnih kritičnih lastnosti olja in njihovo avtomatsko klasifikacijo. Glavni namen naprave je sprotna diagnostika in ocena stanja maziva ter mazanih komponent. SOOA lahko deluje kot samostojna enota, ki preko razvitega uporabniškega vmesnika komunicira z operaterji. Analiza spremljanih parametrov temelji na zaznavanju prehodnih pojavov in odstopanj od referenčnih vrednosti, kot posledica spremembe v stanju maziva ali komponent stroja. Za zaznavanje prehodnih pojavov skrbi razviti algoritem (CDA Change Detection Algorithm), ki statistično primerja referenčno (začetno) stanje s trenutnim stanjem posameznega parametra. Stanje parametra je ovrednoteno kot "dobro", "opozorilno" a l i "kritično", končna ocena stanja sistema pa temelji na tehnikah razpoznavanja vzorcev. Razviti grafični vmesnik (GUI) ponuja vpogled v stanje maziva in mazanih component v realnem času in na ta način skrbi za komunikacijo z operaterji.

**Postopki za robustno diagnostiko v nestacionarnih delovnih pogojih.** Gre za aktualno raziskovalno problematiko. Razvili smo nov postopek, ki združuje tehniko spektralnega kurtosisa za zaznavanje frekvenčnih intervalov za demodulacijo in valčne transformacije za izračun diagnostičnih značilk. Obdelava vibracijskih signalov temelji na kratkih povezanih segmentih, ki odgovarjajo najmanjši frekvenci modulacije. Predlagana tehnologija upošteva tudi stohastično naravo vibracij ležajev in naključnega zdrsa kotalnih elementov ležaja.

**BIspektralne metode.** Za zaznavanje majhnih poškodb je pomembno upoštevati tudi fazne razmere med frekvenčnimi komponentami. Postopek, ki smo ga razvili temelji na predpostavki, da dinamiko rotirajočih pogonov lahko opišemo kot nelinearno dinamiko sklopljenih oscilatorjev. Za razliko od obstoječih bifrekvenčnih metod smo razvili metodo, ki omogoča najboljšo časovno-frekvenčno ločljivost. Valčno bispektralno metodo smo nadalje razvili za namen dviga občutljivosti in vpeljali novo bispektralno mero - število faznih sklopitev, s katero lahko poenostavimo razumevanje kompleksnega ozadja informacij valčnega bispektra. Metodo smo potrdili na primeru zaznavanja težav z mazanjem ležajev.

**Zaznavanje lokalnih poškodb.** Nadalje smo dopolnili postopek zaznavanja lokalnih poškodb na ležajih, ki se osredotoča na statistiko vmesnih časov med dvema zaporednima trkoma ob poškodovano mesto na element ležaja. Tako se izognemo analizi amplitude pri čemer pridemo do vse potrebne informacije tako, da algoritem ostane neobčutljiv na nemerljive motnje npr. zaradi spremembe bremena ali hitrosti.

**Postopki za oceno preostale življenjske dobe.** Ta funkcija omogoča napoved razvoja poškodb, kar bo vzdrževalnemu osebju dovoljevalo, da vnaprej načrtuje vsa vzdrževalna dela. Poleg

tega bomo lahko z njo napovedali celo, koliko časa bo komponenta delovala brez napak pod različnimi obratovalnimi pogoji. To bo omogočalo vpogled v to, kako različni režimi delovanja vplivajo na dolžino uporabne življenjske dobe. To je razmeroma novoraziskovalno področje, ki se mu še ne posveča veliko pozornosti v primerjavi z ostalimi strategijami spremljanja stanja. Opravili smo razvoj postopka, ki je primeren za prognostiiko izdelkov, ki se izdelujejo v serijah. Ideja temelji na spremljanju porazdelitve energij v posameznih vozliščih valčne paketne transformacije merjenega signala vibracij. Za opis vzajemne zveze med relativno spremembo v porazdelitvi (tim. divergenca) in preostalo življenjsko dobo smo uporabili izvirno Bayesovo inačico modela Gaussovih procesov. Algoritem smo preizkusili na seriji testov na življenjsko dobo ležajev.

Metodologija zlivanja informacij. Pripravili in preizkusili smo postopek diagnosticiranja napak na podlagi zlivanja značilik iz različnih virov (v našem primeru vibracij in parametrov olja). Končno odločanje temelji na uporabi tim. incidenčnih tabel, ki povezujejo poškodbe v pogonu in značilke. Sklepanje se opravlja po večinskem sistemu, rezultat pa je seznam najverjetnejših poškodb in ocena njihove verjetnosti. Postopek smo preizkusili na zobniškem mehanskem pogonu.

## **2. Zasnova strojne in programske opreme MEMS-PHM**

Portfelj gradnikov materialne opreme je nastajal inkrementalno skozi evolutivni razvoj, kot rezultat večletnega sodelovanja projektnih partnerjev. Opravljeno delo na tem segmentu se nanaša na zasnovo novih modulov, s katerimi smo dopolnili obstoječi portfelj in ga naredili uporabnega na širšem naboru problemskih domen.

Zasnova strojne opreme. V mnogih primerih v industriji je tako, da informacijska infrastruktura omogoča prenos večjih količin podatkov preko intraneta, spleta in v novjšem času preko oblaka. V takih primerih ni potrebe po intenzivnem lokalnem procesiranju, kar zmanjša potrebe po uporabi lokalnega pomnilnika. Za tovrstne primere smo močno poenostavili verzijo pametnega vozlišča za delovanje v asinhronem režimu.

Zasnova programske opreme. Glavni rezultat je koncept rezidenčne programske opreme za pametno vozišče. Gre za module, ki so bili realizirani v jeziku C in prirejeni za digitalni signalni procesor STM32F4. Definirane so funkcije modulov, ki služijo za dostop do lokalnega spomina, komunikacijo podatkov po Ethernet protokolu, AD pretvorbo, sinhronizacijo ure itn. Omenjeni moduli so neodvisni od aplikacije.

## **3. Zasnova konfiguracijskega orodja**

Opravili smo funkcionalne specifikacije za konfiguracijsko okolje za učinkovito generiranje aplikacij za pametna vozlišča (PV). V ta namen smo specifikirali uporabniku prijazno konfiguracijsko okolje, ki omogoča načrtovanje novih ter vzdrževanje obstoječih postopkov obdelave. Konfiguracijsko okolje ima tri glavne funkcionalne komponente: (i) grafični vmesnik, ki temelji na MATLAB Simulink okolju, (ii) generator C kode, ter (iii) samodejni generator strojne kode (compiler). V prvi fazi okolje podpira družino ARM procesorjev, in generiranje C kode ustrezno za arm-gnu-eabi prevajalnik.

## **4. Integracija**

Najpomembnejši dosežek v tem obdobju je izgradnja podatkovne baze informacijskega sistema v skladu s standardi ISO13374 ter MIMOSA-CBM. Izdelane so bile specifikacije za MySQL bazo podatkov na podlagi MIMOSA OSA-EAI CRIS strukture. Baza omogoča shranjevanje vseh vzdrževalnih podatkov ter rezultatov posameznih obdelovalnih postopkov. V bazo so že zapisani osnovni podatki strojev vključenih v demonstracijski preizkus. Poleg tega v realnem času poteka še zapisovanje izračunanih značilik. Naslednji korak je implementacija ostalih obdelovalnih modulov MIMOSA strukture, ki bodo poskrbeli za analizo značilik ter ocenjevanje stanja stroja in napovedovanje preostale življenjske dobe.

## 5. Vrednotenje MEMS-PHM

Posamezne komponente sistema, predvsem posamične diagnostične module smo najprej preizkusili na preizkuševališču v Laboratoriju za tribologijo in površinsko nanotehnologijo. Posamezne prognostične algoritme smo vrednotili na tim. benchmark podatkih s katerimi smo pokazali, da so naši postopki v svetovnem vrhu po zanesljivosti. Prva faza vrednotenja celokupnega sistema MEMS je obsegala pripravo preizkuševališča za sofinacerja Domel d.d. Opravili smo vse potrebne teste in potrdili zanesljivo delovanje implementirane materialne opreme. Testi na življenjsko dobo tečejo že več kot pol leta, avtomatske meritve za potrebe sprotnega nadzora se opravljajo vsakih 10 min in se shranjujejo v MIMOSA bazo. Opravili smo prvo fazo analize podatkov in pričeli z načrtovanjem in preizkušanjem algoritmov za diagnostiko. Poudarek je na algoritmih za statistično odločanje o spremembi v trendu značilk. Dodatni izziv je "normalizacija" značilk, kar pomeni korekcija neposredno izračunanih vrednosti značilk z namenom kompenzacije vpliva spremenljive obtežbe in vrtljajev. Poskusi so potekali več kot eno leto.

Izvajanje projekta je potekalo v sodelovanju z Oddelkom za uporabno matematiko in računanje Univerze v Cranfieldu (VB), Fakulteto za elektrotehniko, Univerze v Plznu ter s skupino tujih partnerjev v okviru projekta 7OP FluMaBack kjer člani projektne skupine sodelujejo pri diagnostiki puhal.

## 4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>3</sup>

Ocenjujemo, da smo uspešno realizirali naloge, ki smo si jih zastavili v predlogu projekta. Projekt je v zadnjih dveh letih šel skozi razvojno najbolj intenzivno fazo, kjer je poudarek bil manj na metodološkem delu in bolj na snovanju, razvoju in preizkušanju posameznih modulov. Kot poseben doprinos lahko štejemo vzpostavitev MIMOSA podatkovne baze, ki zahteva posebna znanja iz področja informacijskih tehnologij in dobro poznavanje ontologije in problematike iz domene diganostike, prognostike in vzdrževanja. MIMOSA podatkovna baza omogoča sorazmerno enostavno pretakanje podatkov v druge informacijske sisteme (npr. SCADA, MES ali CMMS). Na ta način lahko vse relevantne informacije, ki se nanašajo na vzdrževalne posege na stroju postanejo enostavno dostopni algoritmom za diagnostiko in prognostiko. Na tem segmentu smo v precejšnji meri presegli cilj, ki smo ga prvotno zastavili v prijavi.

Na segmentu, ki se nanaša na lovilce energije, smo ugotovili, da se je treba zaradi obsega projekta omejiti pri obsegu izvajanja delovnega sklopa. Opravili smo preliminarno študijo možnih pristopov ter preizkusili nekaj prototipov s Peltierovim členom in induktivnim pristopom. Ugotovili smo predvsem slabosti, ki jih kažejo omenjeni pristopi. Le-te pri izvedbi in bistveno vplivajo na zanesljivost. Delo je smiselno nadaljevati v smeru lovljenja energije iz vibracij stroja, kar pa zahteva reurse, ki presegajo okvire pričujočega projekta.

## 5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine<sup>4</sup>

Program izvajanja projekta je potekal v skladu z načrti zahvaljujoč stabilnem strokovnem jedru razmeroma številčne projektne skupine. Sicer so izvajanje programa spremljale nekatere spremembe projektne skupine. Ta se je v letu 2012 spremenila tako, da se ji je pridružil en raziskovalec, ki je doktoriral in je sicer že prej bil vključen v projektno skupino. V letu 2013 je šel en raziskovalec v pokoj. Zaradi povečanega obsega dela se je projektni skupini pridružil še tehnik. En raziskovalec je bil izbrisan iz projektne skupine zaradi prenehanja delovnega razmerja. V letu 2014 sta se projektni skupini pridružila še dva raziskovalca iz področja mehatronike, ki sta v zaključni fazi projekta pomagala pri razumevanju in obvladovanju pogojev in zahtev avtomatiziranih procesov ter programiranja nadzora in kontrole v sistemih tehnične diagnostike.

## 6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine<sup>5</sup>

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	13160219	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Algoritmi za sprotno zaznavo sprememb v parametrih olja
		ANG	Algorithms for on-line detection of faults in lubrication based on transients analysis
	Opis	SLO	Predlagali smo izpopolnjene inačico algoritmov za sprotno analizo parametrov olj. Le-te temeljijo na meritvah različnih lastnosti olja, pri čemer se na prisotnost napake sklepa na podlagi prehodnih pojavov v zbranih signalih. Detekcija napak, ki se kažejo v tranzientnih pojavih, se opravlja s pomočjo CUSUM testa. Delovanje algoritmov je bilo preizkušeno v laboratorijskih pogojih.
		ANG	Improved algorithms for on-line oil analysis have been suggested. They utilize measurements of multiple oil properties of interest and detect faults induced by transients in the acquired signals. Transient detection is based on the cumulative sum of errors (CUSUM) technique. Performance capabilities are tested on laboratory conditions.
	Objavljeno v	Zveza strojnih inženirjev in tehnikov Slovenije [et al.] = Association of Mechanical Engineers and Technicians of Slovenia [et al.]; Strojniški vestnik; 2013; Vol. 59, no. 10; str. 604-612, SI 118; Impact Factor: 0.776; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.275; WoS: IU; Avtorji / Authors: Salgueiro José, Peršin Gabrijel, Vižintin Jože, Ivanovič Matic, Dolenc Boštjan	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek		
2.	COBISS ID	10015817	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Uporaba valčne bispektralne metode na vibracijskih signalih motorjev za namen ugotavljanja poškodbe suhih ležajev
		ANG	Wavelet bispectral analysis of electrical motor vibration signals for the purpose of bearings lubricant deficiency fault detection
	Opis	SLO	Med vzroke za okvaro ležajev sodi pomanjkljivo mazanje. Odkrivanje nezadostno mazanih ležajev iz vibracijskih signalov je še vedno težavna naloga, še zlasti, če so razpoložljivi le krajši podatki delovanja motorjev. Problematike smo se lotili z uporabo nedavno razvite valčne bispektralne metode, ki nam omogoča razkrivanje časovno faznih odvisnosti. Rezultati poskusov kažejo, da bispektralna absolutna vrednost ni dovolj občutljiva za detekcijo napake nezadovoljive stopnje lubrikanta. Z nadaljno obdelavo fazne informacije bifaze pa lahko pridobimo boljši vpogled v stanje napake ležaja. Nepravilno mazanje se izraža v različnih dolžinah faznih sklopitev in specifičnem bifrekvenčnem področju v bispektralni domeni.
		ANG	Premature bearing failures can be caused by a large number of factors were one of the most common causes is an inadequate lubrication. Improperly lubricated bearings detection from vibration patterns is yet a difficult task, especially when records from short operating periods are available. This problem has been addressed by applying recently introduced wavelet bispectral analysis, a technique for revealing time-phase relationships. The experimental results reveal that bispectral absolute value is not enough sensitive to reveal the lubricant deficiency fault. However by further extraction and treatment of the biphase phase information one can gain better insight into the fault bearing state. Improper lubrication is expressed in different phase coupling length and bifrequency region in the bispectrum domain.
	Objavljeno v	BINDT; [Conference abstracts and presentations]; 2013; 13 str. (PDF); Avtorji / Authors: Jamšek Janez, Juričić Đani, Boškoski Pavle	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		

3.	COBISS ID		27178535	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Modeliranje lokalnih poškodb v ležajih s pomočjo inverznih Gaussovih mešanic	
		ANG	Modeling localized bearing faults using inverse Gaussian mixtures	
	Opis	SLO	Skoraj vsi znani postopki diagnosticiranja poškodb v ležajih temeljijo na analizi amplitudnih spektrov zajetih signalov. Pri tovrstnih analizah se lahko pojavijo težave, saj fluktuacije v delovnih pogojih lahko zabrišejo spektralno vsebnost. Zato smo razvili alternativni pristop, ki temelji na modelih točkovnih procesov s katerimi opisujemo porazdelitve časov med dvema zaporednima trkoma ob poškodovano mesto na elementu ležaja. Porazdelitev časov lahko opišemo z inverzno Gaussovo mešanico. S tem je postopek diagnostike manj občutljiv na fluktuacije v delovnih pogojih. Postopek smo preizkusili na primeru ležajev z lokalnimi poškodbami.	
		ANG	Almost all known methods for vibration-based diagnosis of bearings stand on some sort of analysis of amplitude spectra of the acquired signal. This analysis can be aggravated by presence of fluctuations in the operating conditions. We developed an alternative approach which models the occurrences of localized bearing fault patterns as a realization of random point process whose inter-event time intervals are governed by inverse Gaussian mixture. Hence the approach turns much more robust to fluctuations in operating conditions. The applicability of the model was evaluated on vibrational signals generated by bearing models with localized surface fault.	
	Objavljeno v		IEEE; PHM`13; 2013; 7 str.; Avtorji / Authors: Boškosi Pavle, Juričić Đani	
Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci		
4.	COBISS ID		25765159	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Detekcija napak na mehanskih pogonih pri nestacionarnih obratovalnih pogojih z uporabo Rényi entropijskimi indeksi ter paketne valjčne transformacije	
		ANG	Fault detection of mechanical drives under variable operating conditions based on wavelet packet Rényi entropy signatures	
	Opis	SLO	Prispevek vsebuje nov pristop k diagnostiki reduktorjev pri spremenljivih ter neznanih obratovalnih pogojih. Predloženi pristop temelji na Rényi entropijske indekse izračunane na podlagi paketne valjčne transformacije. Entropijski indeksi učinkovito opisujejo določene statistične karakteristike ustvarjenih vibracij in so hkrati neobčutljivi na spremembe obratovalnih pogojev. Analizirajo se spremembe oblike porazdelitve ovojnice vibracij, ki se lahko modelira kot vsota sinusnih signalov z naključno fazo ter amplitudo. S tem se izognemo potrebi po natančnih meritev hitrosti in bremena reduktorja. Poleg tega predložena metoda ne potrebuje podatkov o geometriji reduktorja. Učinkovitost metode je bila ocenjena na testnem dvostopenjskem reduktorju z različnimi mehanskimi napakami.	
ANG		In the paper we propose a novel approach to the diagnosis of gearboxes in presumably nonstationary and unknown operating conditions. The approach makes use of information indices based on Rényi entropy derived from coefficients of the wavelet packet transform of measured vibration records. These indices quantify some statistical properties of instantaneous power of the generated vibration that are largely unaffected by changes in the operating conditions. The analysis is based on probability density of the envelope of a sum of sinusoidal signals with random amplitude and phase. Such an approach requires no a priori information about the operating conditions and no prior data describing physical characteristics of the monitored drive. The fault detection capabilities of the proposed feature set are demonstrated on a		

		two-stage gearbox operating under different rotational speeds and loads with various seeded mechanical faults.				
	Objavljeno v	Academic Press; Mechanical systems and signal processing; 2012; Vol. 31; str. 369-381; Impact Factor: 1.913; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.171; A': 1; WoS: IU; Avtorji / Authors: Boškosi Pavle, Juričić Đani				
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek				
5.	COBISS ID	27855399 Vir: COBISS.SI				
	Naslov	<table border="1"> <tr> <td>SLO</td> <td>Napovedovanje odpovedi ležajev z modeli na podlagi Gaussovih procesov in iz kompleksnosti signala vibracij</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>Bearing fault prognostics using Rényi entropy based features and Gaussian process models</td> </tr> </table>	SLO	Napovedovanje odpovedi ležajev z modeli na podlagi Gaussovih procesov in iz kompleksnosti signala vibracij	ANG	Bearing fault prognostics using Rényi entropy based features and Gaussian process models
SLO	Napovedovanje odpovedi ležajev z modeli na podlagi Gaussovih procesov in iz kompleksnosti signala vibracij					
ANG	Bearing fault prognostics using Rényi entropy based features and Gaussian process models					
	Opis	<table border="1"> <tr> <td>SLO</td> <td>Klasične značilke za diagnostiko napak v ležajih so dokazano neučinkovite pri napovedovanju preostale življenjske dobe. V članku predlagamo nov pristop k napovedovanju odpovedi ležajev, ki temelji na statističnih značilkah, kot sta kompleksnost ovojnice in entropija signala vibracij in uporabi modelov na podlagi Gaussovih procesov. Predlagane značilke izkazujejo ustrezno občutljivost na spremembe v stanju ležaja in so hkrati dovolj robustne na spremenljive pogoje obratovanja. Modeli na osnovi gaussovih procesov so neparametrični modeli tipa črne škatljice in se razlikujejo od ostalih metod strojnega učenja po tem, da poišče povezave med vhodnimi in izhodnimi podatki. V članku smo predstavili uporabo modelov na podlagi Gaussovih procesov za filtriranje časovnih vrst značilk in izračun napovedi preostale življenjske dobe.</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>Standard bearing fault detection features are shown to be ineffective for estimating bearings remaining useful life. Addressing this issue, in this paper we propose an approach for bearing fault prognostics based on features describing the statistical complexity of the envelope of the generated vibrations and a set of Gaussian process models. The proposed features are sufficiently sensitive to the changes in the bearing condition and in the same time are sufficiently robust to variations in the operating conditions. Gaussian process models are nonparametric black-box models which differ from most other frequently used black-box identification approaches as they do not try to approximate the modeled system by fitting the parameters of the selected basis functions, but rather search for the relationships among measured data. In this paper the GP models are used for filtering noisy features and estimating the RUL based on filtered features.</td> </tr> </table>	SLO	Klasične značilke za diagnostiko napak v ležajih so dokazano neučinkovite pri napovedovanju preostale življenjske dobe. V članku predlagamo nov pristop k napovedovanju odpovedi ležajev, ki temelji na statističnih značilkah, kot sta kompleksnost ovojnice in entropija signala vibracij in uporabi modelov na podlagi Gaussovih procesov. Predlagane značilke izkazujejo ustrezno občutljivost na spremembe v stanju ležaja in so hkrati dovolj robustne na spremenljive pogoje obratovanja. Modeli na osnovi gaussovih procesov so neparametrični modeli tipa črne škatljice in se razlikujejo od ostalih metod strojnega učenja po tem, da poišče povezave med vhodnimi in izhodnimi podatki. V članku smo predstavili uporabo modelov na podlagi Gaussovih procesov za filtriranje časovnih vrst značilk in izračun napovedi preostale življenjske dobe.	ANG	Standard bearing fault detection features are shown to be ineffective for estimating bearings remaining useful life. Addressing this issue, in this paper we propose an approach for bearing fault prognostics based on features describing the statistical complexity of the envelope of the generated vibrations and a set of Gaussian process models. The proposed features are sufficiently sensitive to the changes in the bearing condition and in the same time are sufficiently robust to variations in the operating conditions. Gaussian process models are nonparametric black-box models which differ from most other frequently used black-box identification approaches as they do not try to approximate the modeled system by fitting the parameters of the selected basis functions, but rather search for the relationships among measured data. In this paper the GP models are used for filtering noisy features and estimating the RUL based on filtered features.
SLO	Klasične značilke za diagnostiko napak v ležajih so dokazano neučinkovite pri napovedovanju preostale življenjske dobe. V članku predlagamo nov pristop k napovedovanju odpovedi ležajev, ki temelji na statističnih značilkah, kot sta kompleksnost ovojnice in entropija signala vibracij in uporabi modelov na podlagi Gaussovih procesov. Predlagane značilke izkazujejo ustrezno občutljivost na spremembe v stanju ležaja in so hkrati dovolj robustne na spremenljive pogoje obratovanja. Modeli na osnovi gaussovih procesov so neparametrični modeli tipa črne škatljice in se razlikujejo od ostalih metod strojnega učenja po tem, da poišče povezave med vhodnimi in izhodnimi podatki. V članku smo predstavili uporabo modelov na podlagi Gaussovih procesov za filtriranje časovnih vrst značilk in izračun napovedi preostale življenjske dobe.					
ANG	Standard bearing fault detection features are shown to be ineffective for estimating bearings remaining useful life. Addressing this issue, in this paper we propose an approach for bearing fault prognostics based on features describing the statistical complexity of the envelope of the generated vibrations and a set of Gaussian process models. The proposed features are sufficiently sensitive to the changes in the bearing condition and in the same time are sufficiently robust to variations in the operating conditions. Gaussian process models are nonparametric black-box models which differ from most other frequently used black-box identification approaches as they do not try to approximate the modeled system by fitting the parameters of the selected basis functions, but rather search for the relationships among measured data. In this paper the GP models are used for filtering noisy features and estimating the RUL based on filtered features.					
	Objavljeno v	Academic Press; Mechanical systems and signal processing; 2014; 11 str.; Impact Factor: 2.465; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.275; A': 1; WoS: IU; Avtorji / Authors: Boškosi Pavle, Gašperin Matej, Petelin Dejan, Juričić Đani				
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek				

## 7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

	Družbeno-ekonomski dosežek					
1.	COBISS ID	27344167 Vir: COBISS.SI				
	Naslov	<table border="1"> <tr> <td>SLO</td> <td>Izpopolnjen sistem za analizo parametrov reduktorskih olj</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>An improved version of the system for monitoring of oil parameters</td> </tr> </table>	SLO	Izpopolnjen sistem za analizo parametrov reduktorskih olj	ANG	An improved version of the system for monitoring of oil parameters
SLO	Izpopolnjen sistem za analizo parametrov reduktorskih olj					
ANG	An improved version of the system for monitoring of oil parameters					
		Sistem za sprotno analizo olja (SOOA – System for Online Oil Analysis) smo dogradili s pametnim vozliščem, ki omogoča različne komunikacijske				



	Opis	SLO	povezave med napravo in oddaljenim strežnikom (npr. Ethernet ali brezžično). Dograditev omogoča uporabo naprave kot del senzorskega omrežja. lahko pa omogoča tudi povsem samostojno delovanje z lastno podatkovno bazo in lokalnimi algoritmi za diagnostiko. Naprava je preizkušena na industrijskem pogonu in vložena je tudi patentna prijava.
		ANG	System for online oil analysis has been complemented with a smart node that enables various communication protocols with the remote server (e.g. Ethernet, wireless). Moreover, the system can be used as part of a sensor network as well as entirely autonomously. In the latter case there is a local database implemented in MySQL which serves for archiving past data. On top of that, locally implemented diagnostic algorithms perform diagnosis based on qualitative trend analysis. The system has been tested in an industrial environment and a patent is applied.
	Šifra	F.08 Razvoj in izdelava prototipa	
	Objavljeno v	Urad RS za intelektualno lastnino; 2013; Avtorji / Authors: Vižintin Jože, Marques Querido Salgueiro Jose Miguel, Kržan Boris, Peršin Gabrijel, Juričič Dani, Boškosi Pavle, Dolanc Gregor	
	Tipologija	2.23 Patentna prijava	
2.	COBISS ID	13293595	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Novi diagnostični rezultati s praktičnimi potenciali
		ANG	New diagnostic algorithms with practical potentials
Opis	SLO	Predlagali smo inovativni pristop k analizi vibracij s kombinacijo spektralnega kurtosisa in optimalnega filtriranja z namenom izločitve koristnih komponent signala iz šuma. Pristop je uporaben pri nestacionarnih in tranzientnih delovnih pogojih.	
	ANG	An innovative vibration analysis based on spectral kurtosis and filtering has been proposed with the aim to extract fault-related non-stationary component from background noise. The approach bears practical potentials in nonstationary and/or transient operating conditions.	
	Šifra	F.01 Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Objavljeno v	[G. Peršin]; 2013; XIV, 119 str.; Avtorji / Authors: Peršin Gabrijel	
	Tipologija	2.08 Doktorska disertacija	
3.	COBISS ID	26660903	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Izpopolnjena platforma za diagnostiko in prognostiko industrijskih pogonov
		ANG	An improved platform for diagnostics and prognostics of industrial drives
Opis	SLO	Platforma je rezultat koncepta sistema za sprotno diagnostiko in prognostiko industrijske opreme, ki temelji na ideji porazdeljenega senzorskega omrežja. V vozliščih omrežja se zbirajo signali iz lokalnih senzorjev in opravi se lokalna obdelava. Naposled se rezultati prenesejo na osrednji strežnik kjer se opravi zlivanje informacij za potrebe ocene trenutnega stanja in napovedi preostale življenjske dobe. Pomembna izpopolnitev sistema zadeva zbiranje podatkov, prenos in obdelavo na podlagi MIMOSA OSA-EAI standarda, ki omogoča povezljivost sistema z ostalimi informacijskimi sistemi v podjetjih. Prototip je preizkušen na dveh industrijskih postrojenjih.	
	ANG	The concept of a system for on-line diagnostics and prognostics of asset condition has been proposed and a prototype has been realized. The system builds on a distributed sensor network performing signal acquisition, local signal processing and fusion of the diagnostic results on a central server. Hence the state of health as well as the estimate of the remaining useful life can be generated online. Key to the concept is optimal data storage and data manipulation framework with built-in condition	

		monitoring taxonomy. To address all these issues the potential of the MIMOSA OSA-EAI standard are exploited. The prototype has been implemented on two industrial case examples.
	Šifra	F.08 Razvoj in izdelava prototipa
	Objavljeno v	Društvo avtomatikov Slovenije; Zbornik osme konference AIG'13 Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu, 4. in 5. april 2013, Maribor, Slovenija; 2013; 54-64; Avtorji / Authors: Juričič Đani, Boškoski Pavle, Petrovčič Janko, Musizza Bojan, Gašperin Matej, Vižintin Jože
	Tipologija	1.07 Objavljeni strokovni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)
4.	COBISS ID	55555555 Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i> Mednarodna konferenca o tribologiji: Posvetovanje o tribologiji, hladilno mazalnih sredstvih in tehnični diagnostiki
		<i>ANG</i> International Conference on Tribology: Conference on Tribology, Cooling Fluids and Technical Diagnostics
	Opis	<i>SLO</i> Člani projektne skupine so v letih 2012 in 2014 organizirali specializirano konferenco, ki je namenjena diseminaciji novih znanj na področju diagnostike in tribologije v industrijo. Konferenci sta v obeh primerih bili dobro obiskani s strani industrije.
		<i>ANG</i> Members of the project team organised two conferences in 2012 and 2014 which are dedicated to the the topic of industrial diagnosis and tribology in industry. The conferences traditionally attract attendants from active in the field from various branches of industries.
	Šifra	B.01 Organizator znanstvenega srečanja
	Objavljeno v	Različne objave
	Tipologija	3.25 Druga izvedena dela
5.	COBISS ID	22222222 Vir: vpis v poročilo
	Naslov	<i>SLO</i> Postopek za detekcijo elektroerozije v ležajih
		<i>ANG</i> Detection of electroerosion in bearings
	Opis	<i>SLO</i> Elektroerozija je pojav značilen za motorje z elektronsko komutacij, kjer prihaja do praznjenja elektrine skozi ležaj. Pri tem nastane porazdeljena poškodba tečajne površine. Realizirali smo postopek kjer z analizo vibracij oz. značilk pridobljenih od le-teh lahko detektiramo prisotnost tovrstnih poškodb. Delo je nastalo v okviru diplomske naloge in je prejelo zlato plaketo za najboljšo diplomsko nalogo s področja vzdrževanja za leto 2014 Društva vzdrževalcev Slovenije.
		<i>ANG</i> Electroerosion appears electronically commutated motors as a result of discharge through the bearings. The consequence is tiny surface damage distributed across inner and outer range. A detection method has been proposed based on features derived from standard vibration signals. The work has been done within a diploma thesis and has been awarded by golden plaque for the best diploma work in the area of maintenance in 2014 from Maintenance Society of Slovenia.
	Šifra	E.01 Domače nagrade
	Objavljeno v	Ni objave
	Tipologija	2.11 Diplomsko delo

## 8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine<sup>Z</sup>

1. Predstavili smo rezultate projekta na razstavi v okviru 23 Tehniškega posvetovanja

vzdrževalcev Slovenije.

2. Svoje delo smo predstavili tudi na delavnici "Vzdrževanje delovnih sredstev na delovnih mestih", ki jo je za slovenske vzdrževalce v podjetju Acroni organizirala Gospodarska zbornica Slovenije.

3. Razvili smo postopek za zaznavanje porazdeljenih poškodb v ležajih.

4. Kontinuirano prenašamo znanja v izobraževalni proces na dodiplomskem študiju v okviru predmeta Tehnična diagnostika.

5. Organizirali smo 3-dnevno delavnico na temo e-vzdrževanje za strokovne kadre iz industrije.

## 9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine<sup>8</sup>

### 9.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>9</sup>

SLO

Čeprav je projekt bil osredotočen na aplikativne raziskave, precej napora je bilo potrebno vložiti v temeljne raziskave. Le-te so temeljile na teoretičnih rezultatih pridobljenih iz prejšnjih projektov, predvsem s področja generiranja značil z novimi entropijskimi indeksi, valčno paketno transformacijo in uporabe nelinearne identifikacije za potrebe napovedovanja napak. Kot opazne prispevke k znanosti lahko navedemo naslednje:

1. Novi postopek za detekcijo poškodb ležajev na podlagi Poissonovega modela trkov med gibljivim delom ležaja in poškodovanim mestom. Naključne čase med dvema zaporednima trkoma opišemo z inverzno Gaussovo mešanico.

2. Novi postopek za napovedovanje preostale življenjske dobe na podlagi statističnega modela, ki ga naučimo s pomočjo rezultatov dobljenih na preizkusih na življenjsko dobo. Gre za algoritem, ki se je izkazal za vrhunskega pri reševanju tim. benchmark problema na mednarodni PHM konferenci leta 2012. Na tem modelu sloni nadaljnji razvoj na področju diagnostike in prognostike rotacijskih strojev.

3. Novi postopek za detekcijo porazdeljenih poškodb ležaja, ki temelji na enostavnih cenilkah in odločitvenimi pravili do katerih smo prišli z uporabo poenostavljenega dinamičnega modela ležaja.

ANG

Although the major part of the project has been dedicated to the applied research and engineering design, a bunch of fundamental problems of global interest have been addressed. The work has built on previous results in the area of feature generation using novel entropy indices, wavelet packet transform and nonlinear system identification for condition prognostics. The most notable contributions of the underlying project can be identified as follows:

1. New method for bearing fault detection relying on Poisson model of the hits the moving parts in have with the static parts. Random intervals between two successive hits are described by Inverse Gaussian distribution.

2. We contributed an entirely new approach to the prediction of the remaining useful life of bearings. The proposed model builds on statistical model of the remaining life whereas the model is obtained from experiments on a suitable number of equal rotational machines. The problem showed supreme performance on the data challenge, i.e. a benchmark issued by organisers of the PHM conference in 2012. The modelling framework serves as the basis of further anticipated development of diagnostics and prognostics of the rotational machines and drives.

3. New method for detection of the distributed faults in bearings. It is based on relatively simple features and decision rules which were obtained by using the simplified model of the bearing dynamics.

### 9.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>10</sup>

SLO

Predlagani projekt ima velik potencial za vpliv na prihodnji razvoj v industriji, zlasti z vidika

oblikovanja učinkovitejših strategij vzdrževanja. Večina slovenskih podjetij, žal še vedno uporablja neučinkovite in drage strategije, kot sta preventivno vzdrževanje in vzdrževanje po odpovedi. Od teh pristopov v smislu višine stroškov vzdrževanja ni mogoče pričakovati nobenih izboljšav več. Za rešitev tega problema moramo uvesti naprednejše strategije vzdrževanja, ki temeljijo na metodi spremljanja stanja in samodejni tehnični diagnostiki.

Glavni prispevek projekta je nizkocenovna, kompaktno in integrativno platform imenovano MEMS-PHM, ki bo sposobna izvajati večino nalog povezanih s spremljanjem stanja. Platforma bistveno povečuje možnosti za izvajanje strategije prediktivnega vzdrževanja na večjem številu industrijskih naprav. Uvedba prediktivnega vzdrževanja ponuja možnost za znižanje tako neposrednih kot

posrednih stroškov vzdrževanja kateregakoli podjetja. S spodbujanjem bolj učinkovitih strategij vzdrževanja, pričakujemo splošno pozitivne učinke in izboljšanje stanja na tem segment v slovenski industriji, kjer so postopki vzdrževanja na izrazito nizki ravni.

Projekt se je osredotočil na razvoj strojne in programske opreme, ki bo pripravljena za neposredno implementacijo v industrijsko prakso. Konkretni uporabni rezultati so:

1. Nizkocenovna avtonomna platforma MEMS-PHM, ki deluje kot stičišče fizikalnih senzorjev različnega tipa;
2. MIMOSA podatkovna baza za shranjevanje podatkov omogoča urejen dostop in povezivanje z informacijskimi sistemi v podjetju.
3. Prenašanje znanja in prirejanje izobraževalnih seminarjev za vzdrževalno osebje, zaposleno v industrijskem sektorju. Te osebe bodo nepogrešljive pri uvajanju novih, na tehnologiji MEMS-PHM temelječih strategij vzdrževanja.

Podjetje Domel, ki je sofinanciralo projekt, bo imelo neposredne koristi od dobljenih rezultatov.

Največja pridobitev je uspešno implementirano preizkuševališče za trajnostne teste EC motorjev. Osnova je izvorni sistem s porazdeljenim senzorskim omrežjem za sprotno spremljanje stanja in napoved preostale življenjske dobe. V prvotni verziji se je sistem sestojil iz 2 pametnih vozlišč na katerih so priključeni senzori vibracij ohišja ležaja in temperature. Vozlišči komunicirata preko Ethernet komunikacije s strežnikom. Merilne sekcije se opravljajo enkrat na uro, rezultati pa se pošiljajo na strežnik in tam naprej obdelujejo. Pomemben korak v aplikaciji rezultatov za uporabnika predstavlja urejeno shranjevanje podatkov in rezultatov obdelav v skladu z MIMOSA OSACBM standardom. Aplikacija je izvedena v MySQL bazi in predstavlja gotovo prvo tovrstno aplikacijo pri nas. Sistem omogoča krmiljenje motorjev na daljavo in spremljanje trenutnega statusa. Na srednjem strežniku je nameščena programska oprema za obdelavo zbranih podatkov, računanje in evalvacijo značilik ter za ocenjevanje preostale življenjske dobe ležajev. Preizkuševališče predstavlja pomemben razvojni korak za Domel in prispevek k dolgoročnemu utrjevanju pozicije Domela na globalnem trgu motorjev z elektronsko komutacijo. Prav ta hip sodelavci Domela skupaj s člani projektne tima zaključujejo razširitev preizkuševališča z dveh na 6 preizkusni mesti.

ANG

The proposed project is expected to have great impact on further development in industry, particularly from the point of view of maintenance strategy. Currently, Slovene companies still use ineffective and expensive maintenance strategies, such as reactive and preventive approaches. For further optimisation of maintenance, a more advanced strategies of condition monitoring and automatic technical diagnosis need to be implemented. The main contribution of the project is a low-cost, compact and integrative platform MEMS-PHM. The platform has the capacity of implementing most of the tasks related to condition monitoring. Such a platform will significantly enhance the possibility of implementing predictive maintenance on a number of industrial applications.

Introducing predictive strategy has the potential of reducing both, direct and indirect cost of maintenance in Slovenian companies. By promoting predictive maintenance an overall positive effects and improvements are expected in this segment of Slovenian industry, where the level of maintenance strategies is particularly low.

The project contributed hardware and software, ready for direct implementation in industrial practice. More specific:

1. A low-cost autonomous MEMS-PHM platform, used as junction of various sensors;
2. MIMOSA database for data storage, allowing controlled access and connections to information system of the company;
3. Knowledge transfer and training seminars for maintenance personnel employed in industrial sector, the community that will be essential for introduction of maintenance strategies based on

MEMS-PHM technology.

Domel d.o.o, a company that co-funded the project, will have direct benefits from the results. Their major benefit is a successfully implemented test rig for life tests of EC motors. The fundamental component is an original system with distributed sensor network, capable of on-line monitoring and remaining useful life estimation of motors. The first version of the system consists of two smart nodes connected to vibration transducers and thermocouples, which are positioned on the housing of two bearings. The smart nodes perform measurement sessions once per hour and transfer the data over Ethernet network to a server, where further signal processing takes place.

A well organised data storage in accordance with MIMOSA OSACBM standard is an important aspect for the final user. The application is implemented in MySQL database and is the first such application in our country. The system is capable of remote control of motors and condition monitoring of each unit. The software installed on the main server is capable of processing the collected data, feature extraction and evaluation of the remaining useful life of bearings. The test rig represents a step forward in development of Domel, as well as it contributes to long-term consolidation of positions in the global market of the company's motors with electronic commutation. Currently, Domel staff, together with members of the project team, is completing expansion of the test rig from two to six test sites.

#### 10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
<b>F.01</b>	<b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Delno <input type="text"/>
<b>F.02</b>	<b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Delno <input type="text"/>
<b>F.03</b>	<b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Delno <input type="text"/>
<b>F.04</b>	<b>Dvig tehnološke ravni</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
<b>F.05</b>	<b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Delno <input type="text"/>
<b>F.06</b>	<b>Razvoj novega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
<b>F.07</b>	<b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.08</b>	<b>Razvoj in izdelava prototipa</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
<b>F.09</b>	<b>Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
<b>F.10</b>	<b>Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.11</b>	<b>Razvoj nove storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.12</b>	<b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.13</b>	<b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
<b>F.14</b>	<b>Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
<b>F.15</b>	<b>Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.16</b>	<b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.17</b>	<b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.18</b>	<b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="Delno"/>
<b>F.19</b>	<b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.20</b>	<b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.21</b>	<b>Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.22</b>	<b>Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.23</b>	<b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
<b>F.24</b>	<b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>

<b>F.25</b>	<b>Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.26</b>	<b>Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.27</b>	<b>Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.28</b>	<b>Priprava/organizacija razstave</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.29</b>	<b>Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.30</b>	<b>Strokovna ocena stanja</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.31</b>	<b>Razvoj standardov</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.32</b>	<b>Mednarodni patent</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.33</b>	<b>Patent v Sloveniji</b>	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	Delno <input type="text"/>
<b>F.34</b>	<b>Svetovalna dejavnost</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE



	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
<b>F.35</b>	<b>Drugo</b>	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

**Komentar**

**11.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!****Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja**

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
<b>G.01</b>	<b>Razvoj visokošolskega izobraževanja</b>					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.02</b>	<b>Gospodarski razvoj</b>					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.03</b>	<b>Tehnološki razvoj</b>					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.04</b>	<b>Družbeni razvoj</b>					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.05.</b>	<b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.06.</b>	<b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.07</b>	<b>Razvoj družbene infrastrukture</b>					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.08.</b>	<b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<b>G.09.</b>	<b>Drugo:</b>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

**Komentar**

--

**12.Pomen raziskovanja za sofinancerje<sup>11</sup>**

	Sofinancer		
1.	Naziv	Domel d.o.o.	
	Naslov	Otoki 21, 4228 Železniki	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	100.000	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	25	%
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra	
	1.	BOŠKOSKI, Pavle, GAŠPERIN, Matej, PETELIN, Dejan. Signal complexity and Gaussian process models approach for bearing remaining useful life estimation. Springer, 2014, str. 91-101.	B.03
	2.	BOŠKOSKI, Pavle, JURIČIĆ, Đani. Modeling localized bearing faults using inverse Gaussian mixtures. PHM` 13. Denver: IEEE, 2013, 7 str. [COBISS.SI-ID 27178535]	B.03
	3.	BOŠKOSKI, Pavle, JURIČIĆ, Đani. Detection of bearing faults based on inverse Gaussian mixtures model. V: Surveillance 7, international conference : October 29-30, 2013, Chartres, 2013, 12 str.	B.03
	4.	JURIČIĆ, Đani in sodel. Implementation of diagnostics, prognostics and e-maintenancesupport under variable operating conditions. V: Surveillance	B.03

		7, October 29-30, 2013, Chartres, 2013, 16 str.	
	5.	BOŠKOSKI, Pavle, JURIČIĆ, Đani. MIMOSA OSA-EAI standard za E-Vzdrževanje. Zbornik osme konference AIG'13, 4. in 5. april 2013, Maribor, Slovenija. Maribor 2013, 7 str.	B.03
	Komentar	<p>Aplikativne raziskave, ki so od neposrednega interesa za Domel, so se izvajale na projektu v obdobju 2011-2014 v okviru dveh večjih vsebinskih sklopov:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. razvoj metod za detekcijo poškodb ležajev tako lokaliziranih kot porazdeljenih,</li> <li>2. načrtovanje in izvedba sistema za trajnostni test EC motorjev.</li> </ol> <p>Razvita je bila metoda za detekcijo porazdeljenih napak na ležajih na podlagi vibracijskih signalov. Z metodo lahko uspešno ločimo med lokaliziranimi in porazdeljenimi napakami na podlagi razmerja energij določenih spektralnih komponent v spektru ovojnice. Metoda je bila preizkušena na EC motorjih s porazdeljenimi napakami. Pri tem smo obravnavali poškodbe, ki so bile ustvarjenje po naravni poti. Poleg tega razvita je bila še metoda za napovedovanje preostale življenjske dobe ležajev na podlagi Gaussovih procesov in statistične karakteristike porazdelitve ovojnice vibracijskih signalov. Metodo bomo preizkusili na rezultatih trajnostnih testov, ki so trenutno v teku.</p> <p>Projektna skupina je načrtala in uspešno implementirala preizkuševališče za trajnostne teste EC motorjev. Osnova je izvorni sistem s porazdeljenim senzorskim omrežjem za sprotno spremljanje stanja in napoved preostale življenjske dobe. Sistem sestoji iz 10 pametnih vozlišč na katerih so priključeni senzorji vibracij ohišja ležaja in temperature. Vozlišči komunicirata preko Ethernet komunikacije s strežnikom. Merilne sekcije se opravljajo enkrat na uro, rezultati pa se pošiljajo na strežnik in tam naprej obdelujejo. Pomemben korak v aplikaciji rezultatov za uporabnika predstavlja urejeno shranjevanje podatkov in rezultatov obdelav v skladu z MIMOSA OSACBM standardom. Aplikacija je izvedena v MySQL bazi in predstavlja gotovo prvo tovrstno aplikacijo pri nas. Sistem omogoča krmiljenje motorjev na daljavo in spremljanje trenutnega statusa. Na srednjem strežniku je nameščena programska oprema za obdelavo zbranih podatkov, računanje in evalvacijo značilik ter za ocenjevanje preostale življenjske dobe ležajev.</p>	
	Ocena	<p>Ocenjujemo, da je projekt potekal v skladu z dogovorjenim programom. Raziskovalni rezultati projekta, poleg kakovosti (o čemer pričajo dve nagradi na mednarodnih konferencah ter vabljeni predavanja), izkazujejo izrazito uporabno komponento. Ocenjujemo, da so naša vlaganja pripeljala do zelo konkretnih rezultatov, ki bodo močna podlaga za naslednji razvojni cikel vgrajenih modulov za diagnostiko in prognostiko, ki bodo sestavni del naših motorjev. Preizkuševališče predstavlja zatorej pomemben razvojni korak za Domel in prispevek k dolgoročnemu utrjevanju pozicije Domela na globalnem trgu motorjev z elektronsko komutacijo. Prav ta hip sodelavci Domela skupaj s člani projektne tima zaključujejo razširitev preizkuševališča z dveh na 6 preizkusni mesti.</p>	

### 13. Izjemni dosežek v letu 2014<sup>12</sup>

#### 13.1. Izjemni znanstveni dosežek

Napovedovanje časa odpovedi ležajev z modeli na podlagi Gaussovih procesov in iz kompleksnosti signala vibracij

Klasične značilke za diagnostiko napak v ležajih so dokazano neučinkovite pri napovedovanju preostale življenjske dobe. V članku predlagamo nov pristop k napovedovanju odpovedi ležajev, ki temelji na statističnih značilkah, kot sta kompleksnost ovojnice in entropija signala vibracij in uporabi modelov na podlagi Gaussovih procesov. Predlagane značilke izkazujejo ustrezno občutljivost na spremembe v stanju ležaja in so hkrati dovolj robustne na sprmenljive pogoje obratovanja. Modeli na osnovi gaussovih procesov so neparametrični modeli tipa črne škatljice in se razlikujejo od ostalih metod strojnega učenja po tem, da poišče povezave med vhodnimi in izhodnimi podatki. V članku smo predstavili uporabo modelov na podlagi Gaussovih procesov za filtriranje časovnih vrst značilk in izračun napovedi preostale življenjske dobe.

### 13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Preizkuševališče za EC motorje

Projektna skupina je načrtala in uspešno implementirala preizkuševališče za trajnostne teste EC motorjev z 6 preizkusnimi mesti. Osnova je sistem s porazdeljenim senzorskim omrežjem za sprotno spremljanje stanja in napoved preostale življenjske dobe. Ta sestoji iz 10 pametnih vozlišč na katerih so priključeni senzori vibracij ohišja ležaja in temperature. Vozlišči komunicirata preko Ethernet komunikacije s strežnikom. Merilne sekcije se opravljajo enkrat na uro, rezultati pa se pošiljajo na strežnik in tam naprej obdelujejo. Podatki se urejeno shranjujejo v skladu z MIMOSA OSA-CBM standardom. Aplikacija je izvedena v MySQL bazi in predstavlja prvo tovrstno aplikacijo pri nas. Na osrednjem strežniku je nameščena programska oprema za obdelavo zbranih podatkov, računanje in evalvacijo značilk ter za ocenjevanje preostale življenjske dobe ležajev.

## C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

**Podpisi:**

*zastopnik oz. pooblaščen oseba  
raziskovalne organizacije:*

in

*vodja raziskovalnega projekta:*

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za  
strojništvo

Jožef Vižintin

**ŽIG**

Kraj in datum:

Ljubljana

11.3.2015

**Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/60**

<sup>1</sup> Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

<sup>2</sup> Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi

partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>3</sup> Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

<sup>4</sup> V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

<sup>5</sup> Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)

<sup>6</sup> Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

<sup>7</sup> Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>8</sup> Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

<sup>9</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>11</sup> Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

<sup>12</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a

F7-5F-A9-93-FA-B3-00-9D-CF-84-07-0E-B0-56-A9-BC-82-43-3B-B6

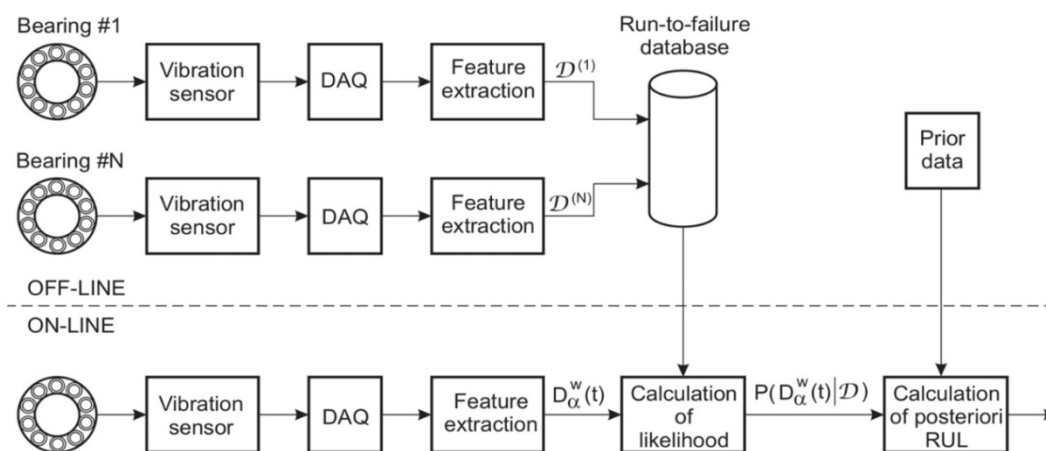
## **Priloga 1**

# TEHNIKA

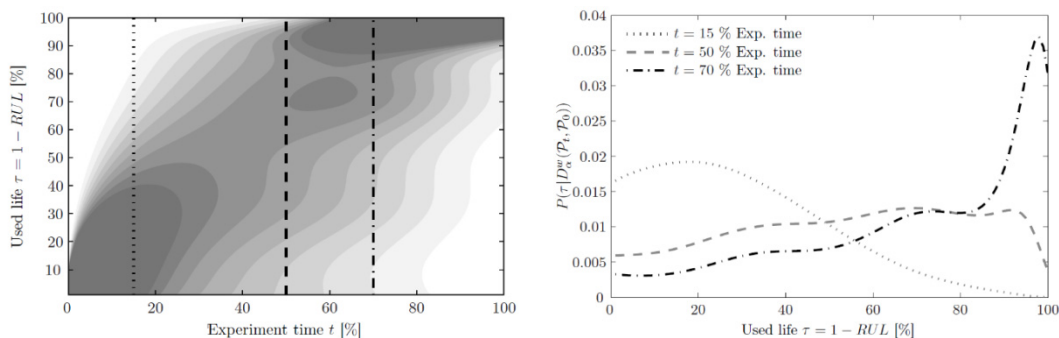
## Področje: 2.11 – Konstruiranje

### Dosežek 1: Sprotno napovedovanje preostale življenjske dobe ležajev

Vir: BOŠKOSKI, Pavle, GAŠPERIN, Matej, PETELIN, Dejan, JURičIĆ, Đani. Bearing fault prognostics using Rényi entropy based features and Gaussian process models. Mechanical systems and signal processing, ISSN 0888-3270. [Tiskana izd.], 11 str., doi: 10.1016/j.ymsp.2014.07.011. [COBISS.SI-ID 27855399]



Slika 1: koncept napovedovanja preostale življenjske dobe ležajev.



Slika 2: Potek porazdelitvene funkcije napovedi življenjske dobe tekom obratovalne dobe (levo) in prikaz porazdelitvenih funkcij pri 15%, 50% in 70% življenjske dobe. Proti koncu "življenja" ležaja se kakovost napovedi bistveno izboljša.

Klasične značilke za diagnostiko napak v ležajih so dokazano neučinkovite pri napovedovanju preostale življenjske dobe. V članku predlagamo nov pristop k napovedovanju časa odpovedi ležajev, ki temelji na statističnih značilkah, kot npr. entropija signala vibracij, in uporabi modelov na podlagi Gaussovih procesov. Predlagane značilke izkazujejo ustrezno občutljivost na spremembe v stanju ležaja in so hkrati dovolj robustne na spremenljive pogoje obratovanja.

## **Priloga 2**

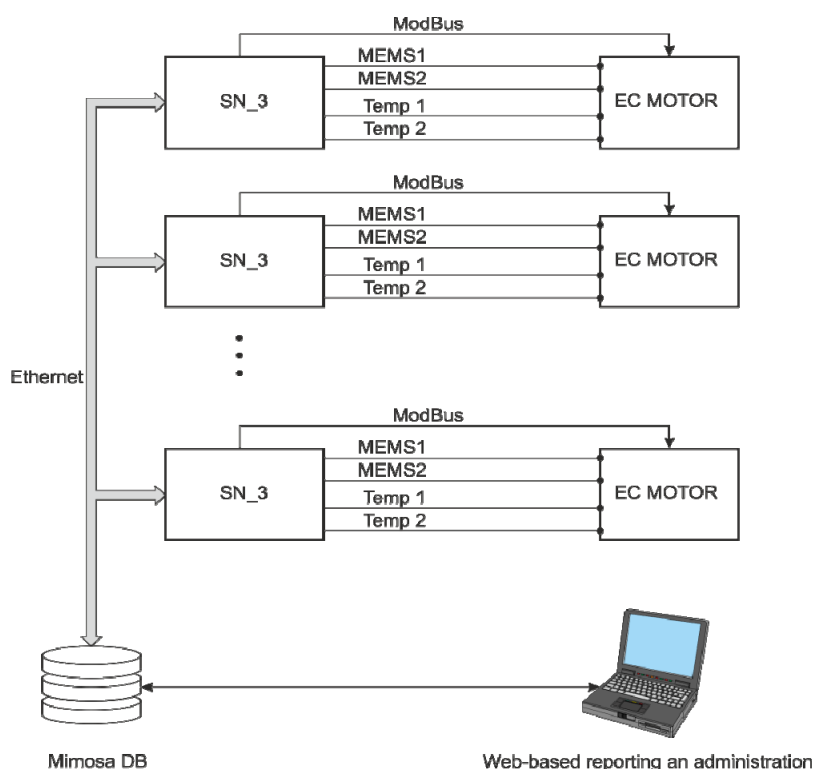


# TEHNIKA

## Področje: 2.11 – Konstruiranje

### Dosežek 1:

Vir: JURIČIĆ, Đani, BOŠKOSKI, Pavle, PETELIN, Dejan, GAŠPERIN, Matej, DOLENC, Boštjan, PFAJFAR, Jurij, VIŽINTIN, Jože. Sprotno napovedovanje preostale življenjske dobe elektromehanskih pogonov. V: Posvetovanje o tribologiji, hladilno mazalnih sredstvih in tehnični diagnostiki, Ljubljana, Slovenija, 11. november 2014 [COBISS.SI-ID 13786139]



Slika 1: Arhitektura preizkuševališča (SN je kratica za pametno vozlišče).

Projektna skupina je načrtala in uspešno implementirala preizkuševališče za trajnostne teste EC motorjev z 6 preizkusnimi mesti. Osnova je sistem s porazdeljenim senzorskim omrežjem za sprotno spremljanje stanja in napoved preostale življenjske dobe. Ta sestoji iz 10 pametnih vozlišč na katerih so priključeni senzorji vibracij ohišja ležaja in temperature. Vozlišči komunicirata preko Ethernet komunikacije s strežnikom. Merilne sekcije se opravljajo enkrat na uro, rezultati pa se pošiljajo na strežnik in tam naprej obdelujejo. Podatki se urejeno shranjujejo v skladu z MIMOSA OSA-CBM standardom. Aplikacija je izvedena v MySQL bazi in predstavlja prvo tovrstno aplikacijo pri nas. Na osrednjem strežniku je nameščena programska oprema za obdelavo zbranih podatkov, računanje in evalvacijo značilnosti ter za ocenjevanje preostale življenjske dobe ležajev.